

InAs 量子ドットと $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ ヘテロ界面を利用した 赤外線検出器の受光感度特性

Sensitivity characteristics of infrared photodetector utilizing InAs quantum dots and an $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ heterointerface

神戸大工¹, ミラノビコッカ大² °朝日 重雄¹, 村田 貴彦¹, Stefano Sanguinetti², 喜多 隆¹

Kobe Univ.¹, Università degli Studi di Milano-Bicocca², °Shigeo Asahi¹, Takahiko Murata¹,

Stefano Sanguinetti², and Takashi Kita¹

E-mail: asahis@people.kobe-u.ac.jp

赤外線検出器は各種気体検出や物体イメージングに広く使用されている[1]。赤外線検出器は動作原理に基づき熱型と量子型に大別される。光電効果を利用する量子型検出器は熱型に比べて、検出感度と高速応答性に優れるといった利点がある反面、熱雑音の影響から使用時は冷却が必要であることが課題である。今回、冷却不要な量子型赤外検出器の実現を目指し、InAs 量子ドット(QD)と $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ ヘテロ構造を利用した量子型赤外線検出器構造を提案する。図 1 に半導体デバイスシミュレーターソフトを用いて計算した QD を考慮しない場合における提案構造のバンドダイアグラムを示す。この構造は我々が検討している 2 段階フォトンアップコンバージョン太陽電池の研究で得られた知見を利用したものである[2,3]。図 1 において $z=0$ nm がデバイス表面であり、デバイス表面から赤外線が入射する。ヘテロ界面($z=400$ nm)には電子が高密度に分布しており、赤外光を吸収し励起された電子はバイアス電圧に応じて光電流として取り出される。ヘテロ界面近傍 $z=410$ nm に InAs QD を形成した。ここでは QD の 3 次元キャリア閉じ込めによる効率的なバンド内遷移を利用している。この構造を実際に作製し特性評価を行った。デバイスは固体ソース分子線エピタキシー法を用いて n^+ -GaAs (001)基板上に作製した。

図 2 に中赤外領域における 295 K での受光感度スペクトルを示す。スペクトルに併せてこれまで得られた知見から起源と考えられるエネルギー準位[2]も示している。光源には SiC ランプを分光した光を使用した。バイアス電圧 1 V での測定において、始状態を QD の基底(~ 2.6 μm)、励起(~ 3.1 , ~ 3.6 μm)準位および InAs 濡れ層(~ 4.3 μm)とし、終状態を $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 伝導帯へのバンド内遷移が起源と考えられる電流応答が得られた。最も感度の高い ~ 6.6 μm のピークはヘテロ界面の三角ポテンシャルに形成された量子準位からバリアを越える遷移によるものと考えられる。最大受光感度は波長 6.6 μm で 0.83 A/W であった。赤外検出感度の指標として用いられる比検出能力 D^* は波長 6.6 μm において 1.8×10^{10} $\text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$ であった。この値は、低温で使用する量子型検出器に匹敵する。

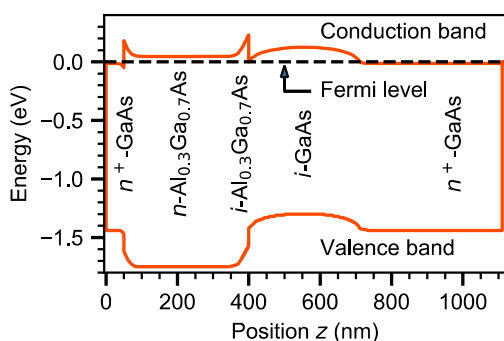


Fig. 1 Calculation result for the band diagram of the device excluding the QD layer using device simulator software (nextnano3).

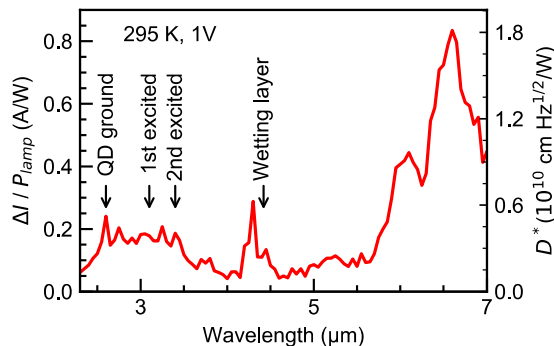


Fig. 2 Optical responsivity $\Delta I/P_{\text{lamp}}$ and detectivity D^* spectra in the mid-wavelength infrared region.

[1] A. Rogalski, Prog. Quantum Electron. **27**, 59 (2003). [2] S. Asahi *et al.*, Nat. Commun. **8**, 14962 (2017).

[3] S. Asahi *et al.*, Sci. Rep. **8**, 872 (2018).